Iranian Journal of Field Crops Research
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

Research Article
Vol. 20, No. 2, Summer 2022, p. 229-242

Effects of Silica and Zinc on the Quantity and Quality of Grain and Rapeseed Oil in Different Planting Dates

M. Shahmardan[1], E. Rahimi Petroudi[2*], A. Daneshmand[3], H. Mobasser[4]

Received: 02-11-2021 Revised: 26-01-2022 Accepted: 05-02-2022	**How to cite this article:** Shahmardan, M., Rahimi Petroudi, E., Daneshmand, A., and Mobasser, H. 2022. Effects of Silica and Zinc on the Quantity and Quality of Grain and Rapeseed Oil in Different Planting Dates. Iranian Journal of Field Crops Research 20 (2): 229-243. (in Persian with English abstract). DOI: 10.22067/jcesc.2022.73395.1108.

Introduction

Rapeseed (*Brassica napus* L.) has a special rank among oilseeds due to its outstanding agronomic characteristics. Planting date is an important factor that affects grain yield, oil content and fatty acid composition. Delay in rapeseed planting reduces vegetative growth period and produces plants with less biomass, and reduces yield components and grain yield due to the exposure of the reproductive stage to high temperatures. Proper nutrition of the plant is one of the important factors in improving the quantity and quality of the product. Silicon is not considered an essential element for excellent plants. However, silicon has an effect on improving plant growth, biomass, seed yield and quality, photosynthesis and resistance to biotic and abiotic stresses. Zinc also regulates plant growth and activates many enzymes. This element is necessary for the synthesis of chlorophyll and the formation of carbohydrates.

Materials and Methods

In order to conduct this research, a field experiment was conducted as a split-factorial in a randomized complete block design with three replications at Qhaemshahr Agricultural Research Station (Qarakheil) during 2017-18. Planting dates as the main plot at two levels (normal planting [7 October] and delayed planting [22 October]), silicon fertilizer sources at three levels (control [no consumption], calcium silicate, nano-Si) and zinc fertilizer sources at three levels (control [no consumption], zinc sulfate, nano-Zn) were considered as sub-plots. Calcium silicate and zinc sulfate (200 kg ha^{-1}) were added to the soil before rapeseed planting. Silica and zinc nanoparticles (50 mg l^{-1}) were sprayed in two stages of flowering and pod formation. The soil of the test site had clay loamy texture with pH 7.5, organic matter 3.2%, total nitrogen 0.16%, absorbable P 15.7 mg kg^{-1} and absorbable K 101 mg kg^{-1}. The average annual rainfall at the test site was 745 mm. Data were analyzed by Mstat-C statistical software and the means were compared with LSD test at a probability level of 5%.

Results and Discussion

Plant height, number of pods per plant, number of seeds per pod, 1000-seed weight, grain yield, seed oil, grain silica and grain zinc were the studied traits that other than grain silica (non-significant) other traits decreased with delay in planting. The present study showed that for each day of delay in planting, 39.15 kg ha^{-1} of grain yield was reduced. With the delay of planting from 7 October to 22 October, the total grain yield decreased by 22.03% due to the decrease in the number of pods per plant, 1000-seed weight and number of seeds per pod. Seed oil also decreased by 3.3% with a delay in planting. Number of pods per plant (10.30 and 12.11%), grain yield (11.15 and 12.43%), and grain silica (9.63 and 11.57%) increased with the use of calcium silicate and nano-silica, respectively, compared to the control. The number of seeds in pods (14.85 and 13.01%) and grain

1- Ph.D. Student, Department of Agronomy, Qaemshahr Branch, Islamic Azad University, Qaemshahr, Iran
2- Assistant Professor, Department of Agronomy, Qaemshahr Branch, Islamic Azad University, Qaemshahr, Iran
3- Assistant Professor, Department of Agronomy, Qaemshahr Branch, Islamic Azad University, Qaemshahr, Iran
4- Assistant Professor, Department of Agronomy, Qaemshahr Branch, Islamic Azad University, Qaemshahr, Iran
(***-** Corresponding Author Email: e.petroudi@gmail.com)
DOI: 10.22067/jcesc.2022.73395.1108

zinc (21.47 and 26.57%) also increased with the use of zinc sulfate and nano-zinc, respectively, compared to the control. Nano-zinc increased the number of pods per plant, 1000-seed weight and grain yield compared to the control (18.66, 15.64 and 20.50%, respectively). The maximum number of seeds per pod was obtained in normal planting date with calcium silicate (49.8 seeds) and the maximum seed oil was obtained under the combined treatments of nano-silica and zinc sulfate (47.3%) and nano-silica and nano-zinc (47.5%).

Conclusion

In general, the results of the current study showed that the highest grain yield and grain silica concentration were obtained by application different sources of silica as well as nano-zinc foliar application. The maximum concentration of grain zinc was obtained by application different sources of zinc. The highest percentage of oil was recorded with the simultaneous application of nano-silica and different sources of zinc.

Keywords: Grain silica concentration, Grain yield, Grain zinc concentration, Oil percentage

نشریه پژوهشهای زراعی ایران

Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۲۰، شماره ۲، تابستان ۱٤۰۱، ص ۲٤۲-۲۲۹

اثرات سیلیس و روی بر کمیت و کیفیت دانه و روغن کلزا در تاریخ‌های متفاوت کاشت

مهرعلی شاه مردان[۱]، الیاس رحیمی پطرودی[۲]*، علیرضا دانشمند[۳]، حمیدرضا مبصر[٤]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۱۶

چکیده

به‌منظور انجام این تحقیق، آزمایشی به‌صورت اسپلیت-فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۹۷-۱۳۹۶ در ایستگاه تحقیقاتی زراعی قراخیل (قائم‌شهر) اجرا گردید. تیمارها شامل تاریخ کاشت در دو سطح (معمول و تأخیری) به‌عنوان عامل اصلی، منابع سیلیس (عدم مصرف، سیلیکات‌کلسیم و نانوسیلیس) و منابع روی (عدم مصرف، سولفات‌روی و نانوروی) هر کدام در سه سطح به‌عنوان عوامل فرعی بودند. نتایج نشان دادند که به‌غیر از سیلیس دانه (غیر معنی‌دار) سایر صفات مورد مطالعه با تأخیر در کاشت کاهش یافتند. تعداد خورجین در بوته (۱۰/۳۰ و ۱۲/۱۱ درصد)، عملکرد دانه (۱۱/۱۵ و ۱۲/۴۳ درصد) و سیلیس دانه (۹/۶۳ و ۱۱/۵۷ درصد) به‌ترتیب با کاربرد سیلیکات‌کلسیم و نانوسیلیس و تعداد دانه در خورجین (۱۴/۸۵ و ۱۳/۰۱ درصد) و روی دانه (۲۱/۴۷ و ۲۶/۵۷ درصد) به‌ترتیب با کاربرد سولفات‌روی و نانوروی در مقایسه با شاهد افزایش یافتند. تعداد خورجین در بوته، وزن هزار دانه و عملکرد دانه با محلول‌پاشی نانوروی در مقایسه با شاهد افزایش (به‌ترتیب ۱۸/۶۶، ۱۵/۶۴ و ۲۰/۵۰ درصد) داشتند. حداکثر تعداد دانه در خورجین در تاریخ کاشت معمولی با سیلیکات‌کلسیم (۴۹/۸ دانه) و حداکثر روغن دانه تحت تیمارهای مرکب نانوسیلیس و سولفات‌روی (۴۷/۳ درصد) و نانوسیلیس و نانوروی (۴۷/۵ درصد) به‌دست آمد. به‌طور کلی یافته‌ها نشان دادند که بالاترین عملکرد دانه و غلظت سیلیس دانه با کاربرد منابع مختلف سیلیس و همچنین محلول‌پاشی نانو روی به‌دست آمد. حداکثر غلظت روی دانه نیز با کاربرد منابع مختلف روی حاصل شد. بالاترین درصد روغن با کاربرد همزمان نانو سیلیس و منابع مختلف روی ثبت گردید.

واژه‌های کلیدی: درصد روغن، عملکرد دانه، غلظت روی دانه، غلظت سیلیس دانه

مقدمه

گیاه زراعی کلزا (*Brassica napus* L.) که کشت عمده آن به‌دلیل استخراج روغن مطرح است، پس از نخل روغنی و سویا در جایگاه سوم تولید محصولات روغنی قرار دارد (FAOSTAT, 2019) و به‌دلیل توانایی آن در سازگاری با تغییرات آب و هوایی، مناسب بودن برای مکانیزاسیون و نیاز کم به نیروی کار، یک محصول دانه روغنی محبوب در جهان است (Dekamin *et al.*, 2018). از آن‌جایی‌که بیش از ۹۰ درصد روغن مصرفی در ایران به‌صورت واردات تأمین می‌شود، تولید دانه‌های روغنی در سال‌های اخیر در اولویت قرار گرفته است (Cashin *et al.*, 2014)، به‌طوری که در دهه گذشته سطح کشت کلزا در ایران افزایش زیادی داشته است (Dekamin *et al.*, 2018).

تاریخ کاشت، یکی از عوامل محیطی است که بر رشد و نمو و همچنین عملکرد تولیدی کلزا تأثیر می‌گذارد (Confortin *et al.*, 2019). انتخاب تاریخ کاشت مناسب برای کاهش اثرات منفی عوامل محیطی بر مراحل مختلف رشد رویشی و زایشی گیاهان بسیار مؤثر است (Shafighi *et al.*, 2021). زمان کاشت مناسب، باعث رشد کافی بوته‌های کلزا شده و آسیب‌پذیری بوته‌ها را در برابر سرما کاهش می‌دهد و همچنین باعث افزایش معنی‌دار در عملکرد دانه می‌شود (Pasban Eslam, 2011). اما تأخیر در کاشت باعث کاهش کیفیت و عملکرد محصول می‌شود (Sheikh Big Goharrizi *et al.*, 2016). محققان دریافتند که تأخیر در کاشت باعث کاهش تعداد روز تا گلدهی، طول دوره گلدهی و عملکرد دانه در کلزا می‌شود (Faraji, 2010). شفیقی و همکاران (Shafighi *et al.*, 2021) نیز گزارش دادند که تأخیر در کاشت عملکرد دانه را در سال اول و دوم به‌ترتیب ۳۹ و ۴۵/۴ درصد کاهش داد. نتایج تحقیق دیگری که بر روی تاریخ کاشت و اثر تنش‌های حاصله از آن در گیاه کلزا انجام

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت، واحد قائم‌شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، قائم‌شهر، ایران

۲- استادیار، گروه زراعت، واحد قائم‌شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، قائم‌شهر، ایران

۳- استادیار، گروه زراعت، واحد قائم‌شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، قائم‌شهر، ایران

۴- استادیار، گروه زراعت، واحد قائم‌شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، قائم‌شهر، ایران

(*- نویسنده مسئول: Email: e.petroudi@gmail.com)

DOI: 10.22067/jcesc.2022.73395.1108

گرفت نشان داد، که به‌دلیل طولانی‌تر شدن دوره پـر شـدن دانـه، تـا حدودی درصد روغن افزایش می‌یابد (Seiling *et al*., 2017).

سیلیس (Si) پس از اکسیژن، دومین عنصر فراوان در پوسته زمین (۲۸ درصد) است (Ligaba-Osena *et al*., 2020) که از ۱۰ تـا ۱۰۰ پی‌پی‌ام در خاک متغیر است (Liang *et al*., 2015). همچنین میزان تجمع آن در گیاه به‌طور قابل‌توجهی از یک تا ۱۰ درصد وزن خشـک در گونه‌های مختلـف متفـاوت مـی‌باشـد (Gottardi *et al*., 2012). سیلیس به‌عنوان عنصری ضروری برای گیاهان عالی در نظـر گرفتـه نمی‌شود، اما چندین اثر مفید به‌ویـژه در کـاهش تـنش‌هـای مختلـف زیسـتی و غیرزیسـتی گیـاهی دارد (Zaid *et al*., 2018). هاشـمی و همکـاران (Hashemi *et al*., 2010) گـزارش دادنـد کـه تغذیـه سیلیکونی در کلزا، باعـث افـزایش پارامترهـای رشـد گیـاه و کـاهش پراکسیداسیون لیپیدی شد. گزارشاتی مبنی بر تأثیر سیلیس بـر بهبـود رشد گیاه، زیست‌توده، عملکرد و کیفیت بـذر، فتوسـنتز و مقاومـت در برابـر تـنش‌هـای زیسـتی و غیرزیسـتی (Zargar *et al*., 2019) و همچنین تأثیر محلول‌پاشی سیلیس بر بهبود همه یا برخـی از اجـزای عملکرد و افزایش عملکرد، ارائه شده است (Arkadiusz Artyszak, 2018).

روی (Zn) یک ریزمغـذی ضـروری اسـت کـه نقـش مهمـی در فرآینـدهای فیزیولـوژیکی گیاهـان دارد (Qiao *et al*., 2014) و به‌کارگیری آن اثر بسیار زیادی بر فرآیندهای پایه گیاه مثل متابولیسم و جذب نیتروژن، افزایش کیفیت پروتئین، فتوسنتز، مقاومت در مقابل تنش‌های زیسـتی و غیرزیسـتی و محافظـت در مقابـل آسـیب‌هـای اکسـیداتیو دارد (Aytak *et al*., 2015). روی بـه‌عنـوان کوفـاکتور آنزیم‌های آنتـی‌اکسـیدانی ماننـد کاتـالاز و پراکسـیداز در حفاظـت از گیاهان و بهبود عملکرد بسـیار مهـم اسـت (Samart *et al*., 2017). امیدی و همکاران (Afsahi *et al*., 2020) طـی مطالعـه‌ای دریافتنـد که کاربرد روی اثر معنی‌داری بر محتوای کلروفیل، عملکـرد روغـن و دانه، اجزای عملکرد دانه و همچنین صفات کیفی بذر (میزان روغـن و پروتئین و روی در دانه و گیاه) داشت به‌طوری کـه در سـطوح بـالاتر کاربرد، افزایش معنی‌داری را نشـان داد. همچنـین اثبـات گردیـد کـه محلول‌پاشی نـانوذرات اکسـید روی بـا افـزایش فعالیـت آنـزیم‌هـای آنتی‌اکسیدانی مانند کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و پراکسـیداز باعـث افزایش فتوسنتز و بهبود عملکرد و کیفیت غذایی محصولات روغنـی می‌شود (Sohail *et al*., 2020). با توجه به این‌که عناصر سـیلیس و روی علاوه بر اثرگذاری بر کمیت و کیفیت دانه، توانایی تعدیل اثرات ناشی از تنش‌های زیستی و غیرزیسـتی را نیـز دارنـد، از ایـن‌رو ایـن تحقیق با هدف بررسی اثرات این دو عنصر در فرم‌های محلول‌پاشی و خاک‌مصرف بر کمیت و کیفیت دانه و روغن کلزا در کشـت معمـولی، به‌ویژه کشت تأخیری کلزا انجام گردید.

مواد و روش ها

این آزمایش به‌منظور بررسی اثرات سـیلیس و روی بـر کمیـت و کیفیت دانه و روغن کلزا در تـاریخ‌هـای متفـاوت کاشـت، بـه‌صـورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی بـا سـه تکـرار در سـال ۹۷-۱۳۹۶ در ایسـتگاه تحقیقـاتی زراعـی قراخیـل (قائم‌شهر) اجرا گردید. قراخیل در کیلومتر ۶ جاده قائم‌شهر به بابل در طول جغرافیایی ۵۶ درجه و ۱۸ دقیقه شـرقی، عـرض جغرافیـایی ۳۶ درجه و ۲۸ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۴/۷ متر از سـطح دریـا قـرار دارد. متوسـط بارنـدگی سـالیانه آن ۷۴۵ میلی‌متـر مـی‌باشـد. داده‌هـای هواشناسی ثبت شده در طول دوره آزمایش و خصوصـیات فیزیکـی و شیمیایی خاک محل آزمایش به‌ترتیـب در جـداول ۱ و ۲ ارائـه شـده است.

جدول ۱- داده‌های هواشناسی محل آزمایش

Table 1- Meteorological data of the experimental site

Months of the year	ماه‌های سال	میانگین دما Temperature mean (℃)	بارندگی Rainfall (mm)	رطوبت Humidity (%)
23 Sep.- 22 Oct.	۱ مهر- ۳۰ مهر	19.7	135.9	77
23 Oct.- 21 Nov.	۱ آبان- ۳۰ آبان	17.8	18.1	78
22 Nov.- 21 Dec.	۱ آذر- ۳۰ آذر	9.7	82.5	77
22 Dec.- 20 Jan.	۱ دی- ۳۰ دی	9.2	75.4	82
21 Jan.- 19 Feb.	۱ بهمن- ۳۰ بهمن	8.6	77.4	83
20 Feb.- 20 Mar.	۱ اسفند- ۲۹ اسفند	12.9	18.5	81
21 Mar.- 20 Apr.	۱ فروردین- ۳۱ فروردین	14.7	38.3	78

جدول ۲- نتایج تجزیه خاک محل انجام آزمایش (۰ تا ۳۰ سانتی‌متر)

Table 2- Soil analysis of experiment location (0-30 cm)

Property	ویژگی	Unit واحد	Value مقدار
EC	هدایت الکتریکی	dS m^{-1}	0.56
(1:5) pH	اسیدیته خاک	-	7.5
Available P	فسفر قابل جذب	mg kg^{-1}	15.7
Available K	پتاسیم قابل جذب	mg kg^{-1}	101
N total	ازت کل	%	0.16
Organic matter	ماده آلی	%	3.2
Sand	شن	%	35
Silt	لای	%	28
Clay	رس	%	37
Soil texture	بافت خاک	-	لومی رسی Clay Loam

جدول ۳- مشخصات نانوذرات مورد مطالعه

Table 3- Specifications of the studied nanoparticles

نانوذرات Nanoparticles	خلوص Purity (%)	اندازه ذرات Particles size (nm)	تراکم واقعی True density ($g.cm^{-3}$)	سطح ویژه مخصوص SSA ($g.m^{-2}$)	رنگ Color
دی‌اکسید سیلیس SiO_2	>99%	20 - 30	2.4	180-600	سفید White
اکسید روی ZnO	>99%	10 - 30	5.606	20-60	سفید White

فاکتورهای آزمایش شامل: تاریخ کاشت در دو سطح (کاشت معمول و کاشت تأخیری به‌ترتیب در تاریخ‌های ۱۵ و ۳۰ مهرماه) به‌عنوان عامل اصلی، منابع سیلیس در سه سطح (شاهد یا عدم مصرف سیلیس، سیلیکات‌کلسیم و نانو سیلیس) به‌عنوان عامل فرعی اول و منابع روی در سه سطح (شاهد یا عدم مصرف روی، سولفات روی و نانو روی) به‌عنوان عامل فرعی دوم بودند. سیلیکات کلسیم و سولفات روی خاک‌مصرف بودند و به‌میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار قبل از کشت به خاک داده شدند. نانوذرات مورد استفاده در مطالعه حاضر، تولید شرکت تحقیقات نانومواد آمریکا[1] بودند که از شرکت پیشگامان نانومواد ایرانیان تهیه گردید که با غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر (Upadhyaya *et al.*, 2017) در مراحل گل‌دهی و غلاف‌دهی محلول‌پاشی شدند. مشخصات مربوط به نانوذرات در جدول ۳ آمده است.

عملیات تهیه بستر، شامل شخم عمیق در اواخر تابستان و سپس دو دیسک عمود بر هم (پس از بارندگی و گاورو شدن) جهت نرم کردن خاک و خرد کردن کلوخه‌های آن و در نهایت ماله برای تسطیح بودند. کودهای نیتروژن، پتاسیم و فسفر بر اساس نتایج تجزیه خاک توصیه شدند. نیتروژن از منبع کود اوره به‌میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار در سه مرحله (یک سوم در زمان کاشت، یک سوم در مرحله طویل شدن ساقه و یک سوم در آغاز مرحله گلدهی)، فسفر از منبع سوپرفسفات تریپل به‌میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار در زمان کاشت و پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم به‌میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در زمان کاشت استفاده شدند. هر کدام از کودها بر اساس مساحت هر کرت محاسبه و به‌صورت دستی به کرت‌ها داده شدند. به‌منظور انجام عملیات کاشت ابتدا مزرعه تحقیقاتی به سه تکرار و هر تکرار به ۱۸ کرت مساوری با ابعاد ۱۰ متر مربع (۵ × ۲) تقسیم شد. هر کرت شامل شش خط کاشت به‌طول شش متر بود که دو خط کناری و یک متر از طرفین هر خط کاشت به‌عنوان حاشیه در نظر گرفته شد. فواصل کاشت بین ردیف و روی ردیف به‌ترتیب ۳۰ و ۴ سانتی‌متر و فاصله بین تکرارها دو متر در نظر گرفته شد. کاشت به‌روش دستی و با فوکا انجام گردید و بلافاصله آبیاری به‌عمل آمد. هایولا ۴۰۱، رقم مورد مطالعه در این آزمایش بود که پرمحصولی، پایداری عملکرد و متحمل بودن به ورس از ویژگی‌های بارز این رقم به‌شمار می‌آید و مناطق گرم، اقلیم مناسب برای کشت این رقم می‌باشد. علف‌کش تریفلورالین[2] با غلظت ۲/۵ لیتر در هکتار برای کنترل علف‌های هرز قبل از کشت کلزا مورد استفاده قرار گرفت و در طول آزمایش وجین

1- US Research Nanomaterials, Inc

2- Trifluralin 48% EC

علف‌های هرز به‌صورت دستی انجام گرفت. برای کنترل حلزون و مورچه نیز در اوایل رشد از سم سوین به‌میزان پنج گرم در یک لیتر آب استفاده گردید. به‌منظور ارزیابی صفات مورد مطالعه، نمونه‌ها در زمان رسیدگی به‌طور تصادفی و بعد از حذف اثر حاشیه‌ای در هر کرت انتخاب شدند. ارتفاع بوته، تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین با میانگین‌گیری از روی ۱۲ بوته در هر کرت به‌دست آمدند. اندازه‌گیری ارتفاع بوته با خط‌کش دقیق و از ناحیه شروع ساقه از سطح زمین تا زیر محور گل انتهایی انجام گردید. برای اندازه‌گیری عملکرد دانه، بعد از رسیدگی کامل، بوته‌ها را با حذف اثرات حاشیه‌ای در هر کرت برداشت و پس از جداسازی دستی دانه‌ها از تمام خورجین‌ها، توزین شدند و در نهایت دانه برحسب کیلوگرم در هکتار اعلام گردید. تعداد ۱۰۰۰ بذر از نمونه‌های بذر هر کرت به‌وسیله دستگاه بذرشمار، شمارش شده و با ترازوی حساس توزین و وزن هزار دانه محاسبه گردید. جهت اندازه‌گیری درصد روغن در آزمایشگاه، یک نمونه ۳۰ گرمی از هر تیمار انتخاب و روغن موجود در دانه‌ها به‌روش سوکسله و توسط حلال آلی متانول–کلروفرم با نسبت ۱ به ۲ استخراج شد (Joshi *et al.*, 1998). غلظت سیلیس و روی دانه به‌ترتیب با استفاده از روش رنگ‌سنجی (Dallagnol *et al.*, 2011) و اسپکتروفتومتری جذب اتمی (Emami, 1996) اندازه‌گیری شدند. تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از این آزمایش توسط نرم‌افزار آماری Mstat-C و مقایسه میانگین‌ها با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار[1] در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت. لازم به ذکر است که در صورت معنی‌دار شدن اثر متقابل، از ذکر میانگین اثرات ساده آن‌ها خودداری شد. رسم جداول و شکل‌ها به‌ترتیب با نرم‌افزارهای Word و Excel انجام گردید.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

جدول ۴ نشان داد که ارتفاع بوته تحت اثرات اصلی تاریخ کاشت و روی قرار گرفت و در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. مقایسه میانگین اثرات ساده ارائه شده در جدول ۵ نشان داد که ارتفاع کلزا با تأخیر در کاشت ۱۳/۷ درصد کاهش یافت که با یافته‌های ناظری و همکاران (Nazeri *et al.*, 2019) مطابقت دارد. این محققان با بررسی اثر تاریخ کاشت بر گیاه کلزا دریافتند که بیشترین ارتفاع مربوط به تاریخ کاشت معمول (۱۵ مهر) بود که نسبت به تاریخ کاشت تأخیری (۵ آبان) برتری معنی‌داری را نشان داد. دیگر نتایج این مطالعه نشان داد که ارتفاع بوته با محلول‌پاشی نانو روی ۹/۳ درصد در مقایسه با عدم مصرف افزایش داشت ولی تحت تأثیر سطوح مختلف سیلیس تفاوت معنی‌داری نشان نداد. مطالعات اخیر نیز نشان دادند که سیلیس تأثیر قابل‌توجهی بر ارتفاع گیاه اندازه‌گیری شده در زمان بلوغ ندارد (Ligaba-Osena *et al.*, 2020) که با یافته‌های ما مطابقت داشت. اما گزارشاتی مبنی بر تأثیر سیلیس در بهبود رشد گیاه نیز وجود دارد (Zargar *et al.*, 2019).

تعداد خورجین در بوته

نتایج تجزیه واریانس صفات نشان داد که تعداد خورجین در بوته تحت اثرات اصلی تاریخ کاشت، سیلیس و روی قرار گرفت و در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). مقایسه میانگین اثرات ساده (جدول ۵) نشان داد که تعداد خورجین در بوته با تأخیر در کاشت ۴۱/۶۲ درصد کاهش یافت که با یافته‌های مرادبیگی و همکاران (Moradbeigi *et al.*, 2019) مطابقت دارد. این محققان دریافتند که تأخیر در کاشت از تاریخ ۲۰ مهر تا ۵ آبان موجب کاهش تعداد خورجین در بوته کلزا گردید که ممکن است به‌دلیل کاهش طول دوره رشد و کاهش تغذیه مناسب باشد. ناظری و همکاران (Nazeri *et al.*, 2019) در این خصوص اظهار داشتند که کشت دیر هنگام کلزا سبب می‌شود تا گیاه با گیاهچه‌های ضعیفی وارد زمستان شود و در نتیجه در اثر سرمای زمستان آغازی‌های گلچه‌ها آسیب ببینند و از طرفی هم بعد از زمستان، گلدهی با بوته‌های ضعیفتری انجام شود که نهایتاً تعداد گلچه کمتری به خورجین تبدیل می‌شود (Nazeri *et al.*, 2019). اوزر (Ozer, 2003) نیز دلیل کاهش تعداد خورجین گیاه در تاریخ‌های کاشت دیرتر را که عامل اصلی در کاهش عملکرد دانه است، ضعیف بودن بوته‌ها در زمان گلدهی می‌داند. این محقق عنوان داشت که بین تجمع ماده خشک در طول دوره رشد رویشی تا زمان گلدهی و تعداد خورجین در بوته رابطه خطی وجود دارد. دیگر نتایج مطالعه جاری نشان داد که تعداد خورجین در بوته با کاربرد سیلیس به‌صورت محلول‌پاشی و خاک‌مصرف در مقایسه با عدم مصرف به‌ترتیب ۱۲/۱۱ و ۱۰/۳۰ درصد افزایش داشت که با یافته‌های فانی و همکاران (Fani *et al.*, 2019) مطابقت دارد. آن‌ها دریافتند که محلول‌پاشی سیلیس تأثیر قابل‌توجهی بر تعداد غلاف در بوته دارد. در ادامه نتایج ارائه شده (جدول ۵) مشخص شد که تعداد خورجین در بوته با محلول‌پاشی نانو روی در مقایسه با عدم محلول‌پاشی، ۱۸/۶۶ درصد رشد داشت. پاینده و همکاران (Payandeh *et al.*, 2018) نشان دادند که بیش‌ترین تعداد خورجین در بوته با محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی (۶ در هزار) و کم‌ترین تعداد آن با عدم محلول‌پاشی به‌دست آمد. به‌نظر می‌رسد که محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی بر فتوسنتز و آنزیم‌های موجود در مسیرهای متابولیک تبدیل مواد فتوسنتزی به انرژی و اجزای عملکرد اثر مثبت داشته و باعث افزایش محصول گیاه می‌شود (Kalantar Ahmadi and Shoushi Dezfouli, 2019).

1- Least significant difference (LSD)

همچنین وجود عناصر ریزمغذی نظیر روی در مناطق مریستمی، به‌علت نقش آن در تولید هورمون اکسین باعث افزایش شاخه‌بندی و تعداد خورجین در بوته می‌شود (Tandon, 2005).

جدول ٤- تجزیه واریانس برخی صفات زراعی کلزا تحت تیمارهای آزمایشی

Table 4- Analysis of variance of some rapeseed agronomic traits under experimental treatments

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی d.f	ارتفاع بوته Plant height	تعداد خورجین در بوته No. pods plant^{-1}	تعداد دانه در خورجین No. seeds pod^{-1}	وزن هزار دانه 1000 Seed weight	عملکرد دانه Grain yield
Rep	تکرار	2	96.16^{ns}	1754.68^{ns}	28.12^{ns}	0.34^{ns}	840365.16^{ns}
Planting date (a)	تاریخ کاشت	1	4930.66**	126633.79**	6823.12**	1.058**	4655204.16**
(a) Error	خطای تاریخ کاشت	2	80.72	4165.90	98.46	0.084	435311.16
Silicon (b)	سیلیس	2	15.16^{ns}	2832.46**	41.12*	0.010^{ns}	514701.72**
Zinc (c)	روی	2	727.72**	6615.79**	169.85**	0.37**	1321396.22**
a × b	تاریخ کاشت × سیلیس	2	57.16^{ns}	189.12^{ns}	63.12**	0.014^{ns}	144171.72^{ns}
a × c	تاریخ کاشت × روی	2	1.50^{ns}	120.12^{ns}	12.96^{ns}	0.034^{ns}	130948.22^{ns}
b × c	سیلیس × روی	4	8.47^{ns}	65.35^{ns}	18.18^{ns}	0.018^{ns}	36840.19^{ns}
a × b × c	تاریخ کاشت × سیلیس × روی	4	38.41^{ns}	63.62^{ns}	9.62^{ns}	0.026^{ns}	767.19^{ns}
Total error	خطا کل	32	31.63	175.77	7.92	0.023	44363.52
CV (%)	ضریب تغییرات (٪)	-	4.3	7.2	7.9	9.3	8.9

ns، **، *: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌داری در سطوح احتمال یک درصد و پنج درصد

ns, **, *: non-statistically significant and significant at 1% and 5%, respectively

جدول ٥- مقایسه میانگین برخی صفات زراعی کلزا تحت تیمارهای آزمایشی

Table 5- Comparison of the average of some rapeseed agronomic traits under experimental treatments

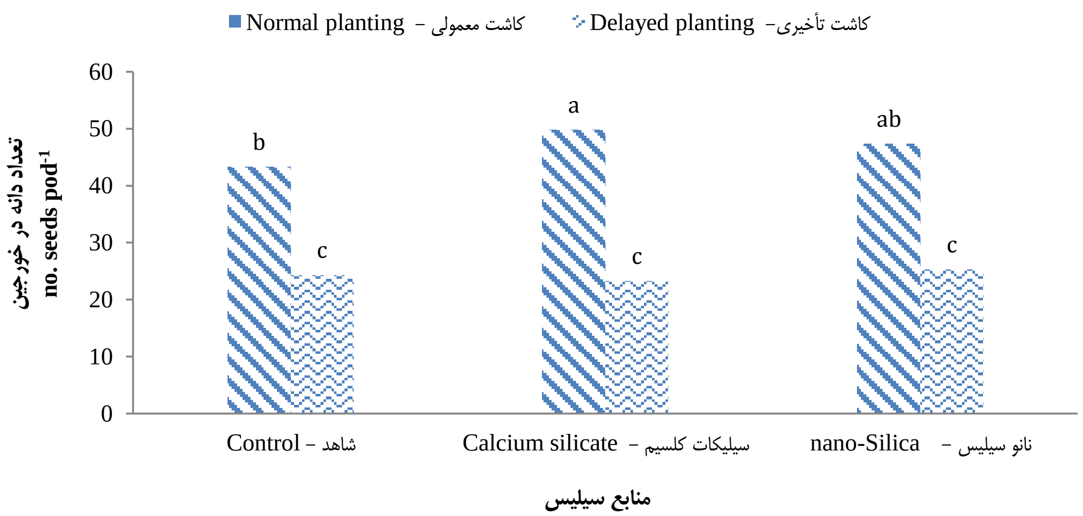
Treatments	تیمارها	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد خورجین در بوته No. pods plant^{-1}	تعداد دانه در خورجین no. seeds pod^{-1}	وزن هزار دانه 1000 Seed weight (g)	عملکرد دانه Grain yield (kg ha^{-1})
Planting date	تاریخ کاشت					
Normal	معمولی	139.3a	232.6a	−	1.79a	2665.6a
Delayed	تأخیری	120.2b	135.8b	−	1.51b	2078.3b
LSD 0.05	حداقل اختلاف معنی‌دار	3.118	7.35	−	0.084	116.7
Silicon resources	منابع سیلیس					
Control	شاهد	−	169.9b	−	−	2177.8b
Calcium silicate	سیلیکات کلسیم	−	189.4a	−	−	2451.2a
Silicon nanoxide	نانو سیلیس	−	193.3a	−	−	2486.9a
LSD 0.05	حداقل اختلاف معنی‌دار	−	9.001	−	−	143.01
Zinc resources	منابع روی					
Control	شاهد	123.0c	163.0c	32.1b	1.51c	2101.1c
Zinc sulfate	سولفات روی	130.7b	189.1b	37.7a	1.64b	2371.8b
Zinc nanoxide	نانو روی	135.6a	200.4a	36.9a	1.79a	2642.9a
LSD 0.05	حداقل اختلاف معنی‌دار	3.81	9.001	1.91	0.10	143.01

اعداد با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد نمی‌باشد.

Means followed by the same letter are not significantly different at the 0.05 level, using LSD test.

تعداد دانه در خورجین

نتایج تجزیه واریانس صفات (جدول ۴) نشان داد که تعداد دانـه در خورجین تحت اثرات اصلی تاریخ کاشت و روی و اثـر متقابـل تـاریخ کاشت با سیلیس در سطح احتمـال یـک درصـد و تحـت اثـر اصـلی سیلیس در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد. تعداد دانه در خورجین با کاربرد روی به‌صورت‌های محلول‌پاشی و خاک‌مصرف در مقایسه با عدم مصرف به‌ترتیب ۱۳/۰۱ و ۱۴/۸۵ درصد رشد نشـان داد (جـدول ۵). احمدی (Ahmadi, 2010) با بررسی اثر عناصـر ریزمغـذی روی، بر گیاه کلزا نشان داد که محلول‌پاشی تعداد دانه در خورجین را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. اثر عناصر ریزمغذی در افزایش تعـداد دانـه در خورجین می‌تواند به‌دلیل افزایش فتوسنتز، تسهیل رشد ریشه یا اثر در تلقیح گلچه‌ها باشد (Shabanzadeh and Galavi, 2011). پاینـده و همکـاران (Payandeh *et al*., 2018) گـزارش دادنـد کـه بیشـترین تعداد دانه در خورجین بـا محلـول‌پاشـی عناصـر ریزمغـذی (۴ و ۶ در هزار) و کمترین تعداد آن با عدم محلول‌پاشی به‌دسـت آمـد. شـکل ۱ گویای این مطلب می‌باشد که حداکثر تعداد دانه در خورجین با کاربرد خاکی سیلیکات پتاسیم در تاریخ کاشت معمولی (۴۹/۸ دانه) به‌دست آمد که البته اختلاف معنی‌داری با محلول‌پاشی نانو سیلیس در تـاریخ کاشت مشابه (۴۷/۳ دانه) نداشت. نتایج مطالعات سـایر محققـان نیـز نشان دادند که کاشت دیرتـر از موعـد سـبب کـاهش تعـداد دانـه در خـورجین گردیـد (Moradbeigi *et al*., 2019; Nazeri *et al*., 2019). فانی و همکاران (Fani *et al*., 2019) نیـز طـی مطالعـه‌ای دریافتند که محلول‌پاشی سیلیس تأثیر مثبت و قابل‌تـوجهی بـر تعـداد دانه در غلاف داشت.



شکل ۱- اثر متقابل تاریخ کاشت با منابع سیلیس بر تعداد دانه در خورجین کلزا

Figure 1- Interaction of planting date with silica sources on the number of seeds in rapeseed pods

ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارد (حداقل اختلاف معنی‌دار = ۴/۶۸)

Columns that have at least one common letter are not significantly different at the 5% probability level based on the LSD test (LSD = 4.68)

وزن هزار دانه

نتایج آنالیز داده‌ها نشان داد که وزن هزار دانه از نظر آماری تحت اثرات اصلی تاریخ کاشت و روی قرار گرفت و در سطح احتمـال یـک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). مقایسه میانگین اثرات ساده (جـدول ۵) نشان داد که وزن هزار دانه با تأخیر در کاشت، ۱۵/۶۴ درصد کـاهش داشت که با یافته‌هـای نـاظری و همکـاران (Nazeri *et al*., 2019) مطابقت دارد. این محققان با بررسی اثر تاریخ کاشـت بـر گیـاه کلـزا عنوان داشتند که بیشترین وزن هزار دانـه مربـوط بـه تـاریخ کاشـت معمول (۱۵ مهر) بود که نسبت بـه تـاریخ کاشـت تـأخیری (۵ آبـان) برتری چشمگیری را نشان داد. در همین راستا بیان شد کـه تـأخیر در کاشت باعث کـاهش رشـد رویشـی گیـاه و در نتیجـه کـاهش مـواد فتوسنتزی قابل انتقال به دانه‌ها در طی مرحله نمو آن‌ها می‌شـود کـه با کاهش وزن هزار دانه و عملکرد دانه همـراه اسـت (Tobe *et al*., 2013). به‌نظر می‌رسد که در کشت دیر هنگام کلزای پاییزه، گیـاه بـا یک روزت ضعیف وارد فصل زمستان می‌شود و در نتیجه بوتـه‌هـا در اثر سرمای زمستانه آسیب می‌بینند. بنابراین بعد از فصل زمسـتان و بـا

گرم شدن هوا نمی‌تواند به اندازه کافی از شرایط محیطی جهت انجام فتوسنتز و تولید شیره پرورده استفاده کند. در این صورت پر شدن دانه‌ها زمانی واقع می‌شود که درجه حرارت محیط بالا بوده و گرمای زیاد مانع از پر شدن دانه‌ها می‌شود و میزان مواد متابولیکی ذخیره‌ای با تشدید تنفس کاهش خواهند یافت. در این شرایط خورجین‌های حاوی دانه‌های کوچک و پوک با وزن هزار دانه اندک تولید می‌شوند (Nazeri *et al*., 2019) که در نهایت باعث کاهش عملکرد دانه کلزا خواهند شد. دیگر نتایج مطالعه جاری نشان داد که وزن هزار دانه با محلول‌پاشی نانو روی در مقایسه با عدم محلول‌پاشی ۱۵/۶۴ درصد افزایش نشان داد، در حالی‌که تحت تأثیر منابع سیلیس تفاوت معنی‌داری نشان نداد (جدول ۵). این نتایج نشان می‌دهد که وجود مواد تغذیه‌ای ریزمغذی به‌میزان کافی در اندام‌های گیاهی و انتقال آن به دانه باعث افزایش وزن دانه‌ها می‌شود (Payandeh *et al*., 2018). فراهم بودن عناصر ریزمغذی از طریق تاثیر بر تقسیم و رشد سلولی و انتقال مواد فتوسنتزی باعث افزایش وزن هزار دانه می‌شود (Kalantar Ahmadi and Shoushi Dezfouli, 2019). عناصر ریزمغذی از طریق افزایش دوام سطح سبز گیاه از کاهش وزن هزار دانه نیز جلوگیری می‌کند (Homayouni *et al*., 2013).

عملکرد دانه

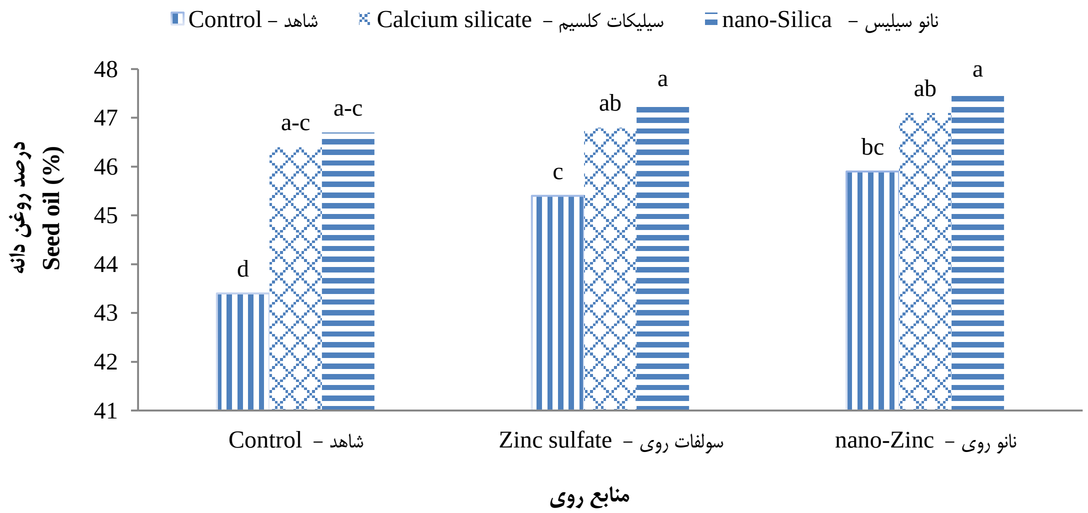
نتایج مطالعه حاضر نشان داد که عملکرد دانه تحت اثرات اصلی تاریخ کاشت، سیلیس و روی قرار گرفت و در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). مقایسه میانگین اثرات ساده ارائه شده در جدول ۵ نشان داد که به ازای هر یک روز تأخیر در کشت، ۳۹/۱۵ کیلوگرم از عملکرد دانه کاسته می‌شود به‌طوری که با تغییر کاشت از ۱۵ تا ۳۰ مهرماه، ۲۲/۰۳ درصد از کل عملکرد دانه کاسته شد که به‌خاطر کاهش در تعداد خورجین در بوته (۴۱/۶۲ درصد)، وزن هزار دانه (۱۵/۶۴ درصد) و تعداد دانه در خورجین بود. نتایج این مطالعه با یافته‌های مرادبیگی و همکاران (Moradbeigi *et al*., 2019) مبنی بر کاهش معنی‌دار عملکرد با تأخیر کاشت، مطابقت داشت. عواملی مانند کوتاه شدن دوره رشد رویشی و زایشی و کاهش زیست‌توده گیاه (Nazeri *et al*., 2019) و همچنین همزمانی گرده‌افشانی گیاه با دمای بالا، عقیمی گلچه‌ها، تسریع و کوتاه شدن زمان پر شدن دانه (Pavlista *et al*., 2011) را می‌توان از دلایل مهم کاهش عملکرد در کشت‌های تأخیری کلزا عنوان کرد. احتشامی و همکاران (Ehteshami *et al*., 2016) نیز با ارزیابی چهار تاریخ کاشت (۲۰ شهریور، ۵ مهر، ۲۰ مهر و ۵ آبان)، ۲۰ شهریور را با بیشترین عملکرد، بهترین تاریخ کاشت کلزا معرفی کردند و اظهار داشتند که عملکرد محصول با تأخیر در کاشت کاهش پیدا می‌کند. دیگر نتایج ارائه شده در جدول ۵ نشان می‌دهد که عملکرد دانه با کاربرد سیلیس به‌صورت محلول‌پاشی و خاک‌مصرف در مقایسه با عدم مصرف (به‌ترتیب ۱۲/۴۳ و ۱۱/۱۵ درصد) افزایش داشت که به‌خاطر تعداد خورجین در بوته (به‌ترتیب ۱۲/۱۱ و ۱۰/۳۰ درصد) و تعداد دانه در خورجین بود. سیلیس عملکرد و فتوسنتز را بهبود می‌بخشد (Zargar *et al*., 2019). مطالعات نشان دادند که عملکرد دانه در سیلیس سه میلی‌مولار تقریباً دو برابر شاهد (عدم مصرف) بود (Ligaba-Osena *et al*., 2020). اثر سیلیس بر عملکرد گیاه ممکن است به‌دلیل رسوب آن در پهنای برگ، افزایش استحکام برگ‌ها و افزایش غلظت کلروفیل در واحد سطح برگ باشد (Maghsoudi *et al*., 2013). همچنین کاربرد سیلیس محلول جهت تولید غلظت‌های بالاتر آنزیم ریبولوز بیس‌فسفات کربوکسیلاز[1] در برگ لازم است. غلظت بیشتر این آنزیم می‌تواند منجر به بهبود فتوسنتز در گیاه شود (Maghsoudi *et al*., 2013). آرکادیوس آرتیزاک (Arkadiusz Artyszak, 2018) دریافتند که افزایش عملکرد پس از تغذیه برگی با سیلیس، در نتیجه بهبود همه یا برخی از اجزای عملکرد می‌باشد. کالاندیک و همکاران (Kalandyk *et al*., 2014) نیز عملکرد بیشتر سویا با محلول‌پاشی سیلیس را ناشی از افزایش تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن هزار دانه عنوان کردند. در مطالعه جاری، عملکرد دانه با محلول‌پاشی نانو روی در مقایسه با عدم محلول‌پاشی، ۲۰/۵۰ درصد رشد داشت که به‌خاطر بهبود تعداد خورجین در بوته (۱۸/۶۶ خورجین)، تعداد دانه در خورجین (۱۳/۰۱ دانه) و وزن هزار دانه (۱۵/۶۴ گرم) بود (جدول ۵). فراهمی عناصر غذایی از طریق تأثیر بر فرآیندهای رشد گیاه زراعی، می‌تواند موجب افزایش عملکرد گردد (Baghai and Maleki Farahani, 2014). در حقیقت عناصر ریزمغذی مانند روی با ایجاد رشد رویشی مناسب از طریق افزایش تعداد و سطح برگ باعث افزایش جذب تشعشع و کارایی مصرف نور شده (Abbasi *et al*., 2019) و می‌تواند تأثیر مطلوبی بر سرعت فتوسنتز گذاشته و عملکرد دانه را افزایش دهد (Fang *et al*., 2008). سایر مطالعات نشان دادند که کاربرد کود به فرم نانو در مقایسه با فرم معمولی تأثیر بیشتری بر عملکرد دانه خواهد داشت (Ghafari and Razmjoo, 2013). در همین راستا کمری و همکاران (Kamari *et al*., 2014) عنوان داشتند که محلول‌پاشی نانواکسید روی موجب افزایش عملکرد دانه و افزایش سرعت ظهور برگ و کاهش فیلوکرون در گیاه تریتیکاله (x *Triticosecale* Wittmack) گردید. کوچک بودن اندازه نانواکسید روی و بالا بودن سطح تماس در آن‌ها احتمالاً باعث بهبود جذب آن‌ها توسط گیاه می‌شوند که می‌تواند دلیل برتری استفاده از نانواکسید روی بر یون Zn^{+2} باشد.

1- RuBisCO

روغن دانه

نتایج ارائه شده در جدول ۶ نشان داد که روغن دانه تحت اثرات اصلی تاریخ کاشت، سیلیس و روی در سطح احتمال یک درصد و تحت اثر متقابل سیلیس با روی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد. مقایسه میانگین اثرات ساده (جدول ۷) نشان داد که روغن دانه با تأخیر در کاشت ۳/۳ درصد کاهش یافت که با یافته‌های ناظری و همکاران (Nazeri *et al*., 2019) مطابقت دارد. این محققان با بررسی اثر تاریخ کاشت بر گیاه کلزا دریافتند که درصد روغن در تاریخ کاشت معمولی (۱۵ مهر) نسبت به تاریخ کاشت تأخیری (۵ آبان) برتری معنی‌داری داشت. میزان روغن دانه صفتی با وراثت‌پذیری بالا می‌باشد که البته تا حدودی هم تحت تأثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرد. در میان عوامل محیطی موثر بر مقدار روغن دانه، دما مهم‌ترین عامل محسوب می‌شود که با افزایش آن، افت شدیدی در درصد روغن دانه آشکار می‌شود. این اثر کاهنده دما بر درصد روغن در تاریخ‌های کاشت دیر مشهودتر می‌باشد (Fanaei *et al*., 2008). دیگر پژوهشگران نیز دریافتند که با تغییر در تاریخ کاشت کلزا در شرایطی که رسیدگی محصول تحت تنش‌های سرما، گرما یا خشکی اتفاق بیفتد، درصد روغن می‌تواند کاهش یابد (Sana *et al*., 2006).

شکل ۲ نشان می‌دهد که بیشترین مقدار روغن دانه با کاربرد همزمان نانو سیلیس و سولفات روی (۴۷/۳ درصد) و نانو سیلیس و نانو روی (۴۷/۵ درصد) به‌دست آمد. مشخص شد که ترکیب اسیدهای چرب کلزا به‌طور خاص و سایر محصولات دانه‌روغنی به‌طور کلی، تحت تأثیر مدیریت کوددهی قرار می‌گیرد (Shoja *et al*., 2018). مطالعات نشان دادند که سیلیس کیفیت بذر را بهبود می‌بخشد (Zargar *et al*., 2019) و محلول‌پاشی سیلیس تأثیر مثبت و قابل‌توجهی بر عملکرد روغن دارد (Fani *et al*., 2019). از طرفی کاهش غلظت روغن ممکن است به‌دلیل اکسیداسیون برخی از اسیدهای چرب اشباع نشده باشد (Singh and Sinha, 2005). احتمالاً کمبود عناصر ریزمغذی نظیر روی و آهن باعث جلوگیری از فعالیت تعدادی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان شده که منجر به خسارات شدید و گسترده به غشای لیپیدی می‌شود، اما با کاربرد عناصر ریزمغذی در کلزا این مشکل تا حدودی برطرف و درصد روغن به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد (Mir *et al*., 2020; Payandeh *et al*., 2018). شجاع و همکاران (Shoja *et al*., 2018) نیز طی مطالعه‌ای دریافتند که کاربرد عناصر روی، بور و گوگرد به‌صورت منفرد یا همراه با هم میزان روغن بذر را در مقایسه با عدم مصرف افزایش داد.



شکل ۲- اثر متقابل منابع سیلیس و روی بر درصد روغن دانه کلزا

Figure 2- Interaction of silica and zinc resources on the percentage of rapeseed oil

ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارد (حداقل اختلاف معنی‌دار = ۱/۳۲)

Columns that have at least one common letter are not significantly different at the 5% probability level based on the LSD test (LSD = 1.32)

غلظت سیلیس دانه

جدول ۶ تجزیه واریانس نشان داد که غلظت سیلیس دانه تنها تحت اثر اصلی سیلیس قرار گرفت و در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. مقایسه میانگین اثرات ساده (جدول ۷) نشان داد که غلظت سیلیس دانه با کاربرد سیلیس به‌صورت محلول‌پاشی و خاک‌مصرف در مقایسه با عدم مصرف به‌ترتیب ۱۱/۵۷ و ۹/۶۳ درصد

افزایش داشت که با نتایج شمس و همکاران (Shams *et al*., 2019) مطابقت دارد. این محققان گزارش کردند که کاربرد سیلیکون موجب افزایش معنی‌دار غلظت سیلیکون شد در حالی‌که بین تیمارهای مختلف دارای سیلیکون، افزایش معنی‌داری نبود. به‌طور مشابه در مطالعه‌ای دیگر مشخص شد که سیلیس بذر با کاربرد سیلیس افزایش یافت، به‌گونه ای که با مصرف ۵ میلی‌مولار سیلیس (۰/۲ میلی‌گرم در گرم) میزان سیلیس دانه در مقایسه با تیمار شاهد (۰/۰۴ میلی‌گرم در گرم) ۵ برابر افزایش یافت (Ligaba-Osena *et al*., 2020).

جدول ٦- تجزیه واریانس برخی صفات کیفی کلزا تحت تیمارهای آزمایشی

Table 6- Analysis of variance of some rapeseed quality traits under experimental treatments

S.O.V	**منابع تغییرات**	**درجه آزادی d.f**	**روغن دانه Seed oil**	**غلظت سیلیس دانه Grain silica concentration**	**غلظت روی دانه Grain zinc concentration**
Repeat	تکرار	2	15.03ns	1336107.22ns	1.41ns
Planting date (a)	تاریخ کاشت	1	148.66**	124787.79ns	546.05**
(a) Error	خطای تاریخ کاشت	2	0.32	78550.55	22.02
Silicon (b)	سیلیس	2	26.58**	355652.70**	82.78ns
Zinc (c)	روی	2	8.79**	118804.29ns	888.37**
a × b	تاریخ کاشت × سیلیس	2	0.45ns	5972.37ns	17.45ns
a × c	تاریخ کاشت × روی	2	0.044ns	4922.37ns	12.66ns
b × c	سیلیس × روی	4	1.91*	5372.22ns	6.15ns
a × b × c	تاریخ کاشت × سیلیس × روی	4	0.172ns	7827.63ns	3.51ns
Total error	خطا کل	32	0.635	54013.63	37.58
CV (%)	ضریب تغییرات (٪)	-	1.7	10.7	13.6

ns، **، *: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌داری در سطوح احتمال یک درصد و پنج درصد

ns, **, *: non-statistically significant and significant at 1% and 5%, respectively

جدول ۷- مقایسه میانگین برخی صفات کیفی کلزا تحت تیمارهای آزمایشی

Table 7- Comparison of the average of some rapeseed quality traits under experimental treatments

Treatments	**تیمارها**	**روغن دانه Seed oil (%)**	**غلظت سیلیس دانه Grain silica concentration (mg kg^{-1})**	**غلظت روی دانه Grain zinc concentration (mg kg^{-1})**
Planting date	تاریخ کاشت			
Normal	معمولی	47.9a	–	48.4a
Delayed	تأخیری	44.6b	–	42.0b
LSD 0.05	حداقل اختلاف معنی‌دار	0.44	–	3.39
Silicon resources	منابع سیلیس			
Control	شاهد	–	2020.1b	–
Calcium silicate	سیلیکات کلسیم	–	2235.3a	–
Silicon nanoxide	نانو سیلیس	–	2284.4a	–
LSD 0.05	حداقل اختلاف معنی‌دار	–	157.8	–
Zinc resources	منابع روی			
Control	شاهد	–	–	37.3b
Zinc sulfate	سولفات روی	–	–	47.5a
Zinc nanoxide	نانو روی	–	–	50.8a
LSD 0.05	حداقل اختلاف معنی‌دار	–	–	4.16

اعداد با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد نمی‌باشد.

Means followed by the same letter are not significantly different at the 0.05 level, using LSD test.

غلظت روی دانه

غلظت روی دانه از نظر آماری تحت اثرات اصلی تاریخ کاشت و روی قرار گرفت و در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۶). مقایسه میانگین اثرات ساده نشان داد که غلظت روی دانه با تأخیر در کاشت ۱۳/۲۲ درصد کاهش یافت. همچنین مقدار آن با کاربرد روی به‌صورت‌های محلول‌پاشی و خاک‌مصرف در مقایسه با عدم مصرف به‌ترتیب ۲۶/۵۷ و ۲۱/۴۷ درصد افزایش یافت (جدول ۷). شجاع و همکاران (Shoja *et al*., 2018) طی مطالعه‌ای دریافتند که با کاربرد روی، غلظت روی در کلزا در مقایسه با تیمار شاهد تا ۲۶/۲ درصد افزایش یافت. در آزمایشی دیگری نیز مشخص گردید که با کاربرد کود روی، غلظت روی در دانه ۶۷ درصد افزایش یافت (Manzeke *et al*., 2014). بهبود غلظت روی در کلزا با محلول‌پاشی نانو روی نیز توسط سهیل و همکاران (Sohail *et al*., 2020) اثبات گردید. نتایج بررسی‌های خیری و همکاران (Kheyri *et al*., 2019) بر روی گیاه برنج نیز نشان داد که کاربرد نانوذره روی و سولفات روی باعث بهبود غلظت روی در دانه در مقایسه با تیمار شاهد گردید.

نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر نشان داد که به‌ازای هر یک روز تأخیر در کاشت، ۳۹/۱۵ کیلوگرم از عملکرد دانه کاسته شد. با تأخیر کاشت از ۱۵ مهر تا ۳۰ مهر، ۲۲/۰۳ درصد از کل عملکرد دانه کاهش یافت که به‌خاطر کاهش در تعداد خورجین در بوته، وزن هزار دانه و تعداد دانه در خورجین بود. روغن دانه نیز با تأخیر در کاشت ۳/۳ درصد کاهش یافت. عناصر سیلیس و روی باعث بهبود عملکرد دانه شدند و توانستند مقدار آن را به‌ترتیب تا ۱۲/۴۳ و ۲۰/۵۰ درصد افزایش دهند. برخلاف سیلیس، مصرف نانوذرات روی موفق‌تر از خاک‌مصرف سولفات روی بود. عنصر سیلیس با بهبود تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین و عنصر روی علاوه بر این صفات با بهبود وزن هزار دانه عملکرد دانه را افزایش دادند. عناصر روی و سیلیس در افزایش درصد روغن و جذب عناصر اثر مثبت داشتند. محلول‌پاشی توانست کارایی بالاتری نسبت به خاک‌مصرف از نظر درصد روغن داشته باشد، اما از نظر جذب عناصر تفاوتی میان آن‌ها مشاهده نشد.

References

1. Abbasi, N., Cheraghi, J., and Hajinia, S. 2019. Effect of iron and zinc micronutrient foliar application as nano and chemical on physiological traits and grain yield of two bread wheat cultivars. Crop Physiology 11 (43): 85-104. (in Persian with English abstract).
2. Afsahi, K., Nazari, M., Omidi, H., Shakari, F., and Bostani, A. 2020. The effects of different methods of zinc application on canola seed yield and oil content. Journal of Plant Nutrition 43 (8): 1070-1079. https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1724299.
3. Ahmadi, M. 2010. Effect of zinc and nitrojen fertilizer rate on yield and yield components of oilseed Rape (*Brassica napus* L.). American-Eurasian Journal Agriculture Environment Science 7 (3): 259-264.
4. Arkadiusz, A. 2018. Effect of silicon fertilization on crop yield quantity and quality-A Literature Review in Europe. Plants 7 (3): 1-17. https://doi.org/10.3390/plants7030054.
5. Aytak, Z., Gulmezoglu, N., Sirel, Z., and Tolay, I. 2015. The effect of zinc on yield, yield components and micronutrient concentrations in the seeds of safflower genotypes (*Carthamus tinctorius* L.). Network of Bitany, Horticulture and Agrology 42 (1): 202-208. https://doi.org/10.15835/nbha4219405.
6. Baghai, N., and Maleki Farahani, S. 2014. Comparison of nano and micro chelated iron fertilizers on quantitative yield and assimilates allocation of saffron (*Crocus sativus* L.). Journal of Saffron Research 1 (2): 156-169.
7. Cashin, P., Mohaddes, K., Raissi, M., and Raissi, M. 2014. The differential effects of oil demand and supply shocks on the global economy. Energy Economics 44: 113-134. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2014.03.014.
8. Confortin, T. C., Todero, I., Luft, L., Ugalde, G. A., Mazutti, M. A., Oliveira, Z. B., Bottega, E. L., Knies, A. E., Zabot, G. L., and Tres, M. V. 2019. Oil yields, protein contents, and cost of manufacturing of oil obtained from different hybrids and sowing dates of canola. Journal of Environmental Chemical Engineering 7 (2): 102972. https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.102972.
9. Dallagnol, L. J., Rodrigues, F. A., DaMatta, F. M., Mielli, M. V. B., and Pereira, S. C. 2011. Deficiency in silicon uptake affects cytological, physiological, and biochemical events in the rice-Bipolaris oryzae interaction. Phytopathology 101 (1): 92-104. https://doi.org/10.1094/PHYTO-04-10-0105.
10. Dekamin, M., Barmaki, M., Kanooni, A., and Meshkini, S. R. M. 2018. Cradle to farm gate life cycle assessment of oilseed crops production in Iran. Engineering in Agriculture, Environment and Food 11 (4): 178-185. https://doi.org/10.1016/j.eaef.2018.04.003.
11. Ehteshami, S. M., Tehrani, A., and Samadi, B. 2016. Effect of planting date on some phonological and morphological characteristics, yield and yield components of fie rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars. Applied Field Crops Research (pajouhesh and Sazandegi) 109: 111-120. (in Persian with English abstract).
12. Emami, A. 1996. Methods of plant analysis. Vol. 982. Soil and Water Res. Institute, Tehran. Iran. (in Persian with English abstract).
13. Fanaei, H. R., Galavi, M., Ghanbari Bongar, A., Solouki, M., and Naruoei-Rad, M. R. 2008. Effect of planting

date and seeding rate on grain yield and yield components in two rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars under Sistan conditions. Iranian J ournal Crop Science 10 (2): 15-30. (in Persian with English abstract).
14. Fang, Y., Wang, L., Xin, Z., Zhao, L., An, X., and Hu, Q. 2008. Effect of foliar application of zinc, selenium, and iron fertilizers on nutrients concentration and yield of rice grain in China. Journal of Agriculture and Food Chemistry 56 (6): 2079-2084. https://doi.org/10.1021/jf800150z.
15. Fani, E., Hassibi, P., Meskarbashee, M., Khanlou, K. M., and Seyedahmadi, S. A. 2019. Effect of drought stress and silica spraying on some physiological and functional traits of canola cultivars. Bulgarian Journal of Agricultural Science 25 (1): 62-66.
16. FAOSTAT (Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistical Database). 2019. FAOSTAT Production Statistics of Crops.
17. Faraji, A. 2010. Determination of phonological response of spring canola (*Brassica napus* L.) genotypes to sowing date, temperature and photoperiod. Seed and Plant Production Journal 26 (1): 25-41.
18. Ghafari, H., and Razmjoo, J. 2013. Effect of foliar application of nano-iron oxidase, iron chelate and iron sulphate rates on yield and quality of wheat. International Journal of Agronomy and Plant Production 4 (11): 2997-3003.
19. Gottardi, S., Iacuzzo, F., Tomasi, N., Cortella, G., Manzocco, L., Pinton, R., Römheld, V., Mimmo, T., Scampicchio, M., Dalla Costa, L., and Cesco, S. 2012. Beneficial effects of silicon on hydroponically grown corn salad (*Valerianella locusta* (L.) Laterr) plants. Plant Physiology and Biochemistry 56: 14-23. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2012.04.002.
20. Hashemi, A., Abdolzadeh, A., and Sadeghipour, H. R. 2010. Beneficial effects of silicon nutrition in alleviating salinity stress in hydroponically grown canola, *Brassica napus* L., plants. Soil Science and Plant Nutrition 56 (2): 244-253.https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2009.00443.x.
21. Homayouni, Gh., Souri, M. K., and Zarein, M. 2013. Effects of zinc and nitrogen on yield components of five flax genotypes. Global Journal of Science Frontier Research Chemistry 13 (1): 20-24.
22. Joshi, N. L., Mali, P. C., and Sexena, A. 1998. Effect of nitrogen and sulphur application on yield and fatty acid composition of mustard (*Brassica juncea* L.) Oil. Journal of Agronomy and Crop Science 180 (1): 59-63. https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.1998.tb00370.x.
23. Kalandyk, A., Waligórski, P., and Dubert, F. 2014. Zastosowanie biostymulatorów w łagodzeniu skutków suszy i innych stresów środowiskowych u soi zwyczajnej (*Glycine max* L. Merr.). Episteme Czasopismo Naukowo-Kulturalne 22 (3): 267-274.
24. Kalantar Ahmadi, S. A., and Shoushi Dezfouli, A. A. 2019. Effects of foliar application of micronutrients on seed yield and oil quality of canola (*Brassica napus* L. cv. Hyola401) under drought stress conditions. Iranian Journal of Crop Sciences 21 (3): 237-253. (in Persian with English abstract). DOI: 10.29252/abj.21.3.237.
25. Kamari, H., SeyedSharifi, R., and Sedghi, M. 2014. Effect of Nano Zinc oxide foliar application and application of free living nitrogen fixing bacteria on yield and morphophysiological characteristics of Triticale. Crop Physiology Journal 6 (22): 37-52. (in Persian with English abstract).
26. Kheyri, N., Ajam-Norouzi, H., Mobasser, H. R., and Torabi, B. 2019. Effects of silicon and zinc nanoparticles on growth, yield, and biochemical characteristics of rice. Agronomy Journal 111 (6): 3084-3090. https://doi.org/10.2134/agronj2019.04.0304.
27. Liang, Y., Nikolic, M., Bélanger, R., Gong, H., and Song, A. 2015. Silicon in Agriculture: From Theory to Practice. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-017-9978-2.
28. Ligaba-Osena, A., Guo, W., Choi, S. C., Limmer, M. A., Seyfferth, A. L., and Hankoua, B. B. 2020. Silicon enhances biomass and grain yield in an ancient Crop Tef (*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter). Frontiers in Plant Science 11: 608503. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.608503.
29. Maghsoudi, K., Emam, Y., and Pessarakli, M. 2013. Effect of silicon on photosynthetic gas exchange, photosynthetic pigments, cell membrane stability and relative water content of different wheat cultivars under drought stress conditions. Journal of Plant Nutrition 39 (7): 1001-1015. https://doi.org/10.1080/01904167.2015.1109108.
30. Manzeke, G. M., Mtambanengwe, F., Nezomba, H., and Mapfumo, P. 2014. Zinc fertilization influence on maize productivity and grain nutritional quality under integrated soil fertility management in Zimbabwe. Field Crops Research 166: 128-136. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.05.019.
31. Mir, Y., Daneshvar, M., and Esmaeili, A. 2020. Investigation of the Possibility of Reducing Quantitative and Qualitative Damage of Rapeseed Neptune Cultivar in Water Deficit Conditions by Applying Foliar Application of Salicylic Acid and Micronutrients. Crop Physiology 12 (3 (47)): 65-81.
32. Moradbeigi, L., Gholami, A., Shiranirad, A., Abbasdokht, H., and Asghari, H. 2019. Effect of drought stress and delay cultivation on grain yield, oil yield and fatty acids composition in Canola. Journal of Agricultural Science 29 (2): 135-151. (in Persian with English abstract).
33. Nazeri, P., Shirani Rad, A. H., Valad Abadi, S. A., Mirakhori, M., and Hadidi Masoule, E. 2019. The effect of planting date and late season drought stress on eco-physiological characteristics of the new varieties of canola (*Brassica napus* L.). Agroecology 11 (1): 261-276. (in Persian with English abstract).

DOI: 10.22067/jag.v11i1.67311.
34. Ozer, H. 2003. Sowing date and nitrogen rate effects on growth yield and yield components of two summer rapeseed cultivars. European Journal of Agronomy 19 (3): 453-463. https://doi.org/10.1016/S1161-0301(02)00136-3.
35. Pasban Eslam, B. 2011. Study of possibility of delayed planting of oilseed rape (*Brassica napus* L.) in east Azerbaijan in Iran. Seed and Plant Production Journal 27 (3): 269-284. (in Persian with English abstract).
36. Pavlista, A. D., Isbell, T. A., Baltensperger, D. D., and Hergert, G. W. 2011. Planting date and development of spring-seeded irrigated canola, brown mustard and camelina. Industrial Crops and Products 33 (2): 451-456. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.10.029.
37. Payandeh, K., Mojdam, M., and Derogar, N. 2018. Application of micronutrient elements on quantitative and qualitative yield of rapeseed under drought tension conditions. Crop Physiology 10 (38): 23-37. (in Persian with English abstract).
38. Qiao, X., He, Y., Wang, Z., Li, X., Zhang, K., and Zeng, H. 2014. Effect of foliar spray of zinc on chloroplast β-carbonic anhydrase expression and enzyme activity in rice (*Oryza sativa* L.) leaves. Acta Physiologiae Plantarum 36 (2): 263-272. https://doi.org/10.1007/s11738-013-1407-6.
39. Samart, S., Chutipaijit, S., and Phakamas, N. 2017. Evaluating the effect of zinc oxide nanoparticles on the physiological responses of nine non-photoperiod sensitive rice cultivars. Materials Today: Proceedings 4 (5): 6430-6435. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.06.149.
40. Sana, M., Ali, A., Asghar Malik, M., Farrukh Saleem, M., and Rafiq, M. 2006. Comparative yield potential and oil contents of different canola cultivars (*Brassica napus* L.). Journal of Agronomy 72 (3): 187-193.
41. Shabanzadeh, S., and Galavi, M. 2011. Effect of micronutrients foliar application and irrigation regimes on agronomic traits and yield of black cumin (*Nigella sativa* L.). Environmental Stresses in Crop Sciences 4 (1): 1-9. (in Persian with English abstract). DOI:10.22077/ESCS.2011.94.
42. Shafighi, A., Ardakani, M. R., Shirani Rad, A. H., Alavifazel, M., and Rafiei, F. 2021. Grain yield and associated physiological traits of rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars under different planting dates and drought stress at the flowering stage. Italian Journal of Agronomy 16 (1): 1648. https://doi.org/10.4081/ija.2020.1648.
43. Shams, H., Abdolzadeh, A., Sadeghipour, H. R., Mehraban Joubani, P., and Bagherieh Najar, M. B. 2019. Effects of silicon nutrition on the alleviation of salinity induced oxidative stress in *Arabidopsis thaliana*. Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology) 32 (1): 111-124. (in Persian with English abstract).
44. Sheikh Beig Goharrizi, M. A., Dejahang, A., Tohidfar, M., Izadi-Darbandi, A., Carillo, N., Hajirezaei, M. R., and Vahdati, K. 2016. Agrobacterium mediated transformation of somatic embryos of Persian walnut using fld gene for osmotic stress tolerance. Journal of Agricultural Science and Technology 18 (2): 423-435.
45. Shoja, T., Majidian, M., and Rabiee, M. 2018. Effects of zinc, boron and sulfur on grain yield, activity of some antioxidant enzymes and fatty acid composition of rapeseed (*Brassica napus* L.). Acta agriculturae Slovenica 111 (1): 73-84. DOI: http://dx.doi.org/10.14720/aas.2018.111.1.08.
46. Sieling, K., Böttcher, U., and Kage, H. 2017. Sowing date and N application effects on tap root and above-ground dry matter of winter oilseed rape in autumn. European Journal of Agriculture 83: 40-46. https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.11.006.
47. Singh, S., and Sinha, S. 2005. Accumulation of metals and its effects in (*Brassica juncea* L.) Czern (cv. Rohini) grown on various amendments of tannery waste. Ecotoxicolgy and Environmental Safety 62 (1): 118-127. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2004.12.026.
48. Sohail Kamran, K., Kemmerling, B., Shutaywi, M., and Mashwani, Z. U. R. 2020. Nano zinc elicited biochemical characterization, nutritional assessment, antioxidant enzymes and fatty acid profiling of rapeseed. Plos One 10: 1-18. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0241568.
49. Tandon, H. L. S. 2005. Micronutrients in soil, crops, and fertilizers. Fertilizer Development and Consultation Organization, New Delhi, India. 138p.
50. Tobe, A., Hokmalipour, S., Jafarzadeh, B., and Hamele Darbandi, M. 2013. Effect of sowing date on some phenological stages and oil contents in spring canola (*Brassica napus* L.) cultivars. Middle-East Journal of Scientific Research 13 (9): 1202-1212.
51. Upadhyaya, H., Roy, H., Shome, S., Tewari, S., Bhattacharya, M. K., and Panda, S. K. 2017. Physiological impact of zinc nanoparticle on germination of rice (*Oryza sativa* L.) seed. Journal of Plant Science and Phytopathology 1: 062-070.
52. Zaid, A., Gul, F., Ahanger, M. A., and Ahmad, P. 2018. Chapter 20 - Silicon-mediated alleviation of stresses in plants. Plant Metabolites and Regulation Under Environmental Stress 377-387. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812689-9.00020-0.
53. Zargar, S. M., Mahajan, R., Bhat, J. A., Nazir, M., and Deshmukh, R. 2019. Role of silicon in plant stress tolerance: opportunities to achieve a sustainable cropping system. Biotech 9: 73. https://doi.org/10.1007/s13205-019-1613-z.